

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Offenlegungsschrift****28 11 807**

Aktenzeichen:

P 28 11 807.2-52

Anmeldetag:

16. 3. 78

Offenlegungstag:

20. 9. 79

Unionspriorität:

Bezeichnung:

Digital-absoluter Winkelkodierer nach dem Nonius-Prinzip

Anmelder:

Wernicke, Joachim, Dr.-Ing., 1000 Berlin

Erfinder:

gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

2811807

Patentansprüche

1. Digital-absoluter Winkelkodierer nach dem Noniusprinzip, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer mit der drehbaren Eingangswelle fest verbundenen Codescheibe ein spezielles Muster eingeprägt ist, das von einer winkeläquidistanten regelmäßigen geschlossenen Ringanordnung einer Anzahl von N Abtastsensoren im Winkelabstandsmaß $360^\circ/N$ abgetastet wird, wobei das spezielle Muster der Codescheibe aus zwei Teilmustern aufgebaut ist: aus einem über einen Sektor des Vollkreises erstreckten unregelmäßigen Muster von Einzelmarkierungen und Lücken (=fehlende Einzelmarkierungen) im Winkelabstandsmaß $360^\circ/N$ ("Schlüsselbartmuster") und einem gleichmäßig über den Vollkreis erstreckten winkeläquidistanten regelmäßigen Muster von $(N+1)$ Einzelmarkierungen im Abstandsmaß $360^\circ/(N+1)$ ("Noniusmuster"); die Abtastsensoren geben die Meldung über die Anwesenheit einer Art von Einzelmarkierungen unabhängig von der Anwesenheit von Einzelmarkierungen der anderen Art ab, d.h. die Abtastsensoren führen eine Signaldiskriminierung zwischen den Einzelmarkierungen des "Schlüsselbartmusters" und den Einzelmarkierungen des "Noniusmusters" durch, so daß mittels einer Dekoderlogikschaltung eine digitale Grob-Fein-Messung der Winkelstellung der Eingangswelle des Winkelkodierers nach Art der Noniusablesung einer Skala erfolgen kann.
2. Winkelkodierer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das unregelmäßige Teilmuster von Einzelmarkierungen ("Schlüsselbartmuster") durch Verwendung einer Anzahl von Einzelmarkierungen in solcher Weise redundant ausgeführt ist, daß

909838 / 0504

ORIGINAL INSPECTED

2811807

beim Auftreten eines oder mehrerer Abtastsensorfehler eine fehlerfreie Rekonstruktion des ungestörten Musters möglich ist (Fehlerkorrektur) und zudem die Ausgabe einer Fehlermeldung erfolgt (Fehlerdiagnose).

3. Winkelkodierer nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der Anzahl ($N+1$) von regelmäßigen äquidistanten Einzelmarkierungen auf der Codescheibe ("Noniusmuster") eine Anzahl ($N+A$) solcher Einzelmarkierungen vorhanden sein kann, wobei A eine positive oder negative, von Null verschiedene ganze Zahl vom Betrage $|A| < N$ sein kann.
4. Winkelkodierer nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Signaldiskriminierung der diskreten Sensorsignale zwischen den verschiedenen Einzelmarkierungen (des "Schlüsselbartmusters" und des "Noniusmusters") bei photoelektrischer Abtastung einer optischen Codescheibe im Zeitmultiplex vorgenommen wird, indem die Codescheibe zwei konzentrische Spuren mit den somit geometrisch voneinander getrennten Teilmustern trägt, die unter konisch schrägem Lichteinfall im Wechseltakt von getrennten Lichtquellen abwechselnd beleuchtet werden.
5. Winkelkodierer nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anordnung von 4 Einzelmarkierungen und 6 Lücken (=fehlende Einzelmarkierungen) über 10 aneinandergrenzende Winkelintervallschritte vom Abstandsmaß $360^\circ/N$ in folgender Abfolge (M=Einzelmarkierung, L= Lücke)

M - L - M - L - L - M - L - L - L - M

sowie ($N-10$) weiteren Lücken zur Auffüllung des

909833/0504

2811807

Vollkreises als Codescheibenmuster für die
Stellungsgrobmessung ("Schlüsselbartmuster")
vorhanden ist, die gegen einen beliebigen
einzelnen Sensorfehler fehlertolerant ist.

909870 / 0504

Digital-absoluter Winkelkodierer nach
dem Nonius-Prinzip

Die Erfindung betrifft einen digital-absoluten Winkelkodierer, der zur elektrisch-digitalen Messung der analogen mechanischen Winkelstellung einer drehbaren Welle im anschlagsfreien Vollkreisbereich von 0° bis 360° vorgesehen ist.

Digital-absolute Winkelkodierer werden in der Prozeßtechnik zur elektrischen Messung von mechanischen Bewegungen insbesondere dann benutzt, wenn elektrisch-digitale Ausgangsdaten erforderlich sind.

Es ist bekannt, daß digital-absolute Winkelkodierer jeweils aus einer drehbaren Codescheibe und einer feststehenden Anordnung von Abtastsensoren aufgebaut sind. Die Codescheibe trägt ein geometrisches Muster; dieses Muster ist in einer beliebigen physikalischen Materialeigenschaft eingeprägt, für welche die Abtastsensoren empfindlich sind, üblicherweise elektrische Leitfähigkeit bei Kontaktbürstenabtastung, optische Transparenz bei photoelektrischer Abtastung oder Magnetisierungsstärke bei magnetischer Abtastung. Die Abtastsensoren sind im einfachsten Falle, der den geringsten Aufwand an Abtastsensoren und Signalauswertung erfordert, in einer genau ausgerichteten radialen Zeile angeordnet, deren einzelne Abtastsensoren jeweils ein Bit Information des Meßdatenausganges erzeugen, und denen auf der Codescheibe ein Kreisspurenmuster mit von Spur zu Spur unterschiedlicher sektoriellem Teilung entsprechend einem nicht- oder wenig-redundanten binären Code zugeordnet ist, meist der Gray-Code, vielfach auch der natürliche Binärcode oder ein BCD-Code.

Es ist bekannt, daß alternativ zu den wenig redundanten binären Codes auch lineare Codes zur Anwendung kommen: Die Codescheibe trägt als spezielles Muster nur eine einfache Einzelmarkierung. Zur Abtastung ist eine Anzahl N von Sensoren in einfacher gleichmäßiger äquidistanter konzentrischer Kreisanordnung vorhanden, so daß stets ein, maximal jedoch zwei Abtastsensoren die Nähe der Einzelmarkierung auf der Codescheibe melden. Durch eine "1-aus-N"-Dekodierungs-Schaltung erfolgt die Identifizierung der gesuchten momentanen Stellung der Eingangswelle mit der Winkelauflösung $360^\circ/N$. Dieser Linearc ode ist hochredundant im Hinblick auf die Ausnutzung der Abtastsensoren, indem die N Abtastsensoren im Linearc ode nur $(\log_2 N)$ Bit Meßinformation liefern, wohingegen die gleiche Anzahl N von Sensoren im Binärc ode maximal N Bit Meßinformation ergibt. Dafür hat der Linearc ode gegenüber dem Linearc ode den Vorteil, keine Winkelgleichlauf-Abstimmung zwischen mehreren Abtastspuren zu erfordern.

Die bekannten digital-absoluten Winkelkodierer haben eine Reihe von Nachteilen:

1. Binär-kodierte Winkelkodierer erfordern sehr hohe Fertigungsgenauigkeiten, insbesondere in der Ausrichtung der Abtastsensoren und der Ausführung des feingliedrigen Musters der Codescheibe. Bei Ausfall eines Abtastsensors ist die Gesamtfunktion des Winkelkodierers ohne Diagnose- und Korrekturmöglichkeit gestört; redundante Mehrfachanordnung der Abtastelemente ist aus Platz- und Genauigkeitsgründen nicht ohne weiteres möglich.
2. Linear-kodierte Winkelkodierer erreichen hohe Winkelauflösungen nur mit sehr großen Anzahlen von Abtastsensoren. Bei Ausfall

eines Abtastsensors ist die Gesamtfunktion des Winkelkodierers ohne Diagnose- und Korrekturmöglichkeit gestört. Eine redundante Mehrfachanordnung der Abtastelemente vergrößert den ohnehin sehr hohen Aufwand an Abtastsensoren.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen digital-absoluten Winkelkodierer auf der Grundlage des Linearcodes zu schaffen, der bei gegebener Anzahl N von Abtastsensoren die hohe Redundanz des Linearcodes ausnutzt, um bei Ausfall eines Abtastsensors eine Fehlerdiagnose und -Korrektur zu gestatten und zugleich eine höhere Meßauflösung zu erzielen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in dem Winkelkodierer eine feststehende gleichmäßige äquidistante geschlossene Ringanordnung von N gleichartigen Abtastelementen im Winkelabstand von $360^\circ/N$ auf einer mit der Eingangswelle konzentrischen Kreisspur vorhanden ist, der eine drehbare Codescheibe mit einem speziellen Muster gegenübersteht; dieses spezielle Muster ist die Überlagerung zweier Teilmuster:

1. eine nicht-rotationssymmetrische Gruppe von Einzelmarkierungen, die im Winkelabstandsmaß $360^\circ/N$ der Abtastsensoren, jedoch nicht regelmäßig und nur über einen Sektorausschnitt des Vollkreises angeordnet sind; dieses im folgenden in anschaulicher Analogie als "Schlüsselbart-Muster" bezeichnete Teilmuster dient zur Grobmessung der Winkelstellung.
2. eine rotationssymmetrische-äquidistante Ringanordnung von $(N+1)$ gleichartigen Einzelmar-

2811807

kiereungen im Winkelabstand $360^\circ/(N+1)$;
dieses im folgenden in anschaulicher Analogie
als "Noniusmuster" bezeichnete Teilmuster
dient zur Feinmessung der Winkelstellung.

Die den beiden Teilmustern angehörenden Mengen von
Einzelmarkierungen rufen in den Abtastsensoren unter-
schiedbare Signale hervor, in der Weise, daß ein
beliebiger Abtastsensor aus der Menge von N Sensoren
durch einen Signal-Diskriminationsvorgang jeweils
eine der folgenden vier möglichen diskreten Meldungen
abgibt:

1. keine Einzelmarkierung präsent
2. nur eine Einzelmarkierung des "Schlüsselbart-
musters" präsent
3. nur eine Einzelmarkierung des "Noniusmusters"
präsent
4. sowohl eine Einzelmarkierung des "Schlüsselbart-
musters" als auch eine Einzelmarkierung des
"Noniusmusters" präsent

Die Gesamtheit der von dem "Schlüsselbartmuster" der
Codescheibe in der Ringanordnung der N Abtastsensoren
hervorgerufenen diskreten Meldungen wiederholt sich
mit jeder Umdrehung der Eingangs welle, d.h. ist perio-
disch mit 360° . Die Gesamtheit dieser N Meldungen ist
eindeutig der Stellung der Eingangs welle, mit einem
Winkelauflösungsvermögen von $360^\circ/N$, zugeordnet. Durch
logische Dekodierung kann aus der Gesamtheit der
N diskreten Meldungen die momentane Grob-Winkelstellung,
nämlich eine von N möglichen äquidistanten Stellungen
im Vollkreis, identifiziert werden.

Die Gesamtheit der von dem "Noniusmuster" der Code-
scheibe in der Ringzeile der N Abtastsensoren hervor-
gerufenen N diskreten Meldungen wiederholt sich nach
jeder Drehung der Eingangs welle um den Winkel $360^\circ/(N+1)$,

da das wellenförmige Schwebungsmuster aus der Überlagerung (Interferenz) der äquidistanten gleichmäßigen Kreisteilung von N Abtastsensoren und der äquidistanten regelmäßigen Kreisteilung von (N+1) Einzelmarkierungen des "Noniusmusters" innerhalb des Drehwinkelintervall von $360^\circ/(N+1)$ einen Vollkreis durchläuft. Die Gesamtheit dieser N diskreten Meldungen ist somit eindeutig der Stellung der Eingangswelle innerhalb des Intervall von $360^\circ/(N+1)$ mit der Winkelauflösung $360^\circ/N \cdot (N+1)$ zugeordnet. Durch logische Dekodierung kann aus der Gesamtheit der N diskreten Meldungen die momentane Fein-Winkelstellung, nämlich eine von N Stellungen, identifiziert werden. Dieser Vorgang der Genauigkeitssteigerung durch eine Feinmessung ist der gleiche wie bei der Noniusablesung des Längenmaßstabes eines gebräuchlichen Werkstatt-Meßwerkzeuges, etwa einer Schieblehre.

Die Gesamtheit der Grob- und Feinmessung der Winkelstellung erbringt somit eine Winkelauflösung von $360^\circ/N^2$.

Gemäß der weiteren Erfindung ist das "Schlüsselbartmuster" auf der Codescheibe als unregelmäßige Folge von Einzelmarkierungen und Lücken (d.h. Positionen ohne Einzelmarkierungen) im Winkelabstandsmaß $360^\circ/N$ derart redundant ausgeführt, daß die Dekodierung der momentanen Stellung der Eingangswelle aus den N Sensor-Meldungen von Einzelmarken des "Schlüsselbartmusters" auch dann eindeutig bleibt, wenn eine oder mehrere Sensormeldungen fehlerhaft ist, beispielsweise aufgrund eines Versagens von einzelnen Sensoren, daß aber in diesen Fällen in der Dekodierung ein zusätzliches Ausgangssignal erzeugt wird, welches das Auftreten mindestens eines Sensorfehlers anzeigt. Die Messung der Grobstellung der Eingangswelle ist durch diese Redundanzmaßnahme selbsttätig fehlerkorrigierend und selbstdiagnostizierend.

- 8 -
9
2811807

Gemäß der weiteren Erfindung kann anstelle der Anzahl ($N+1$) der äquidistanten Einzelmarkierungen des "Noniusmusters" auf der Codescheibe eine Anzahl ($N+A$) solcher Markierungen vorhanden sein, wobei A eine positive oder negative Zahl ungleich Null vom Betrage $|A| < N$ ist. Auch eine solche Anordnung erbringt eine Feinmessung der Winkelstellung der Eingangswelle, wenngleich mit geringerer Auflösung als im Falle der Anzahl ($N+1$) Einzelmarkierungen.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen darin, daß durch die zusätzliche Noniusablesung mit Hilfe des "Noniusmusters" die Meßauflösung des linear-kodierten Winkelkodierers bei vorgegebener Anzahl von Abtastsensoren gegenüber der Meßauflösung einfacher linearkodierter Winkelkodierer erheblich gesteigert ist: insbesondere wird der Informationsinhalt des Winkelmeßwertes von $(\log_2 N)$ auf $2 \cdot (\log_2 N)$ verdoppelt. Weiterhin nutzt die Erfindung die hohe Redundanz des Linearcodes aus, um eine selbsttätige Sensorfehler-Korrektur und Sensorfehler-Diagnose bei der Winkelgrobmessung auszuführen. Darüberhinaus führt der Ausfall einzelner Abtastsensoren auch in der Feinmessung nur zu einer kleinen Störung, die maximal eine Meßwertverfälschung um einige Feinauflösungsschritte zur Folge hat; das angewandte Nonius-Meßprinzip ist somit fehlertolerant gegen vereinzelte Sensorfehler, sofern das oder die betragskleinsten Bits des Meßdatenwertes außer Betracht bleiben, je nachdem, ob ein oder mehrere Sensorfehler toleriert werden sollen. Die geometrische Fehlplazierung eines oder mehrerer Abtastsensoren innerhalb der winkeläquidistanten Ringanordnung der N Abtastsensoren hat maximal die gleiche meßwertverfälschende Wirkung wie einzelnes Meßwertversagen, so daß die Meßgenauigkeit des Winkelkodierers von dem Grad der Regelmäßigkeit der gesamten

909838 / 0504

befestigt befindet sich der Abtastsensorträger 4, der eine äquidistante gleichmäßige konzentrische Ringzeile von N gleichartigen photoelektrischen Abtastsensoren 41 im Winkelabstandsmaß $360^\circ/N$ trägt, von denen zwei in der Zeichnung im Schnitt sichtbar sind. Diese N Abtastsensoren 41 liefern N unabhängige diskrete Sensorsignale über Signalleitungen 42, von denen zwei in der Zeichnung dargestellt sind. Die Signale der photoelektrischen Abtastsensoren werden hervorgerufen durch zwei konzentrische lineare Ringlichtquellen 51 und 52, die aus der Stromquelle 6 gespeist werden und von dem Taktgeber 7 mittels des Umschalters 8 im Wechseltakt so geschaltet werden, daß jeweils nur eine Lichtquelle, 51 oder 52, Licht emittiert und somit die Abtastsensorzeile 41 durch den konisch schrägen Lichteinfall eine Lichtverteilung meldet, die abwechselnd durch Intensitätsmodulation von dem Teilmuster 11 oder dem Teilmuster 12 hervorgerufen wird. Die Meßwert-Dekoderlogik-Schaltung 9, bestehend aus UND-, ODER- und NICHT-Gattern und logischen Speichergliedern, setzt die über die Sensorsignalleitungen 42 einkommenden Signale zusammen mit dem Taktsignal 71 in das Meßausgangssignal 10 um, das eindeutig die Winkelstellung der Eingangswelle angibt.

Das in Figur 2 dargestellte Schwärzungsmuster der Codescheibe 1 besteht aus dem unregelmäßigen konzentrischen Muster 11 ("Schlüsselbartmuster"), das auf der inneren Spur für die Abtastung durch N=64 Sensoren aus Einzelmarkierungen im Winkelabstandsraster von $360^\circ/64$ besteht, und aus dem regelmäßigen konzentrischen Muster 12 ("Noniusmuster"), das auf der äußeren Spur angeordnet ist und $(N+1)=65$ äquidistante Einzelmarkierungen trägt.

Die in Figur 3 gezeigte lineare Abwälzung des Teilmusters 11 ("Schlüsselbartmuster") der Codescheibe

2811807

ist erfindungsgemäß eine Anordnung von 4 Einzelmarkierungen und 6 Lücken (=fehlende Einzelmarkierungen) über 10 aneinandergrenzende Winkelintervallschritte im Abstandsmaß $360^\circ/64$ in folgender Abfolge (M=Einzelmarkierung, L= Lücke)

M - L - M - L - L - M - L - L - L - M

sowie $(N-10)=54$ weiteren Lücken zur Auffüllung des Vollkreises; diese sind nicht in der Zeichnung dargestellt, sondern nur der wesentliche Teil des Teilmusters 11 ist gezeigt. Dieses Teilmuster 11 ist in der Weise redundant, daß beim Auftreten eines einzelnen Fehlers (Fehlsignal anstelle von Lücke oder Nullsignal anstelle von Signal) in fehlerkorrigierender Wirkung in der Dekodierungslogikschaltung das fehlerfreie Signalmuster aus dem gestörten Restmuster vollständig rekonstruierbar ist.

Hinsichtlich des Funktionsprinzipes der Erfindung ist es gleichgültig, in welcher physikalischen Materialeigenschaft die abzutastenden Teilmuster in der Codescheibe eingeprägt sind, nach welchen Sensortechniken sie abgetastet werden, ob die Codescheibe in abgewandelter geometrischer Form, etwa als zylindrische Trommel, ausgeführt ist und in welcher Weise die Signaldiskriminierung bei der Unterscheidung der beiden Teilmuster erfolgt, beispielsweise durch Amplitudendiskriminierung (Impulshöhendiskriminierung), geometrische Diskriminierung, Zeit- oder Frequenzdiskriminierung.

909838 / 0504

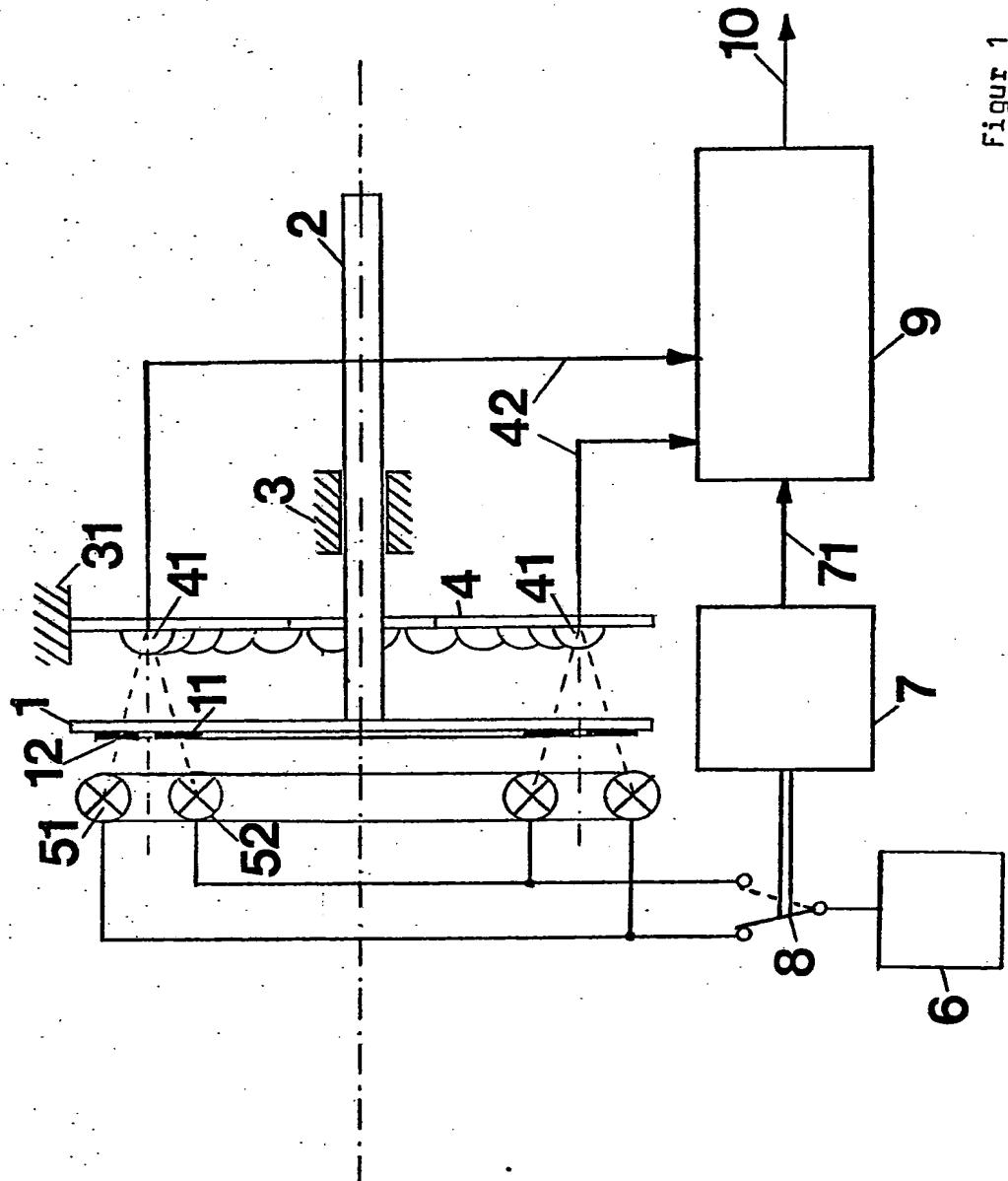
ORIGINALLY INSPECTED

- 15 -

2811807

Nummer:
Int. Cl. 2:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

28 11 807
G 01 D 5/249
16. März 1978
20. September 1979



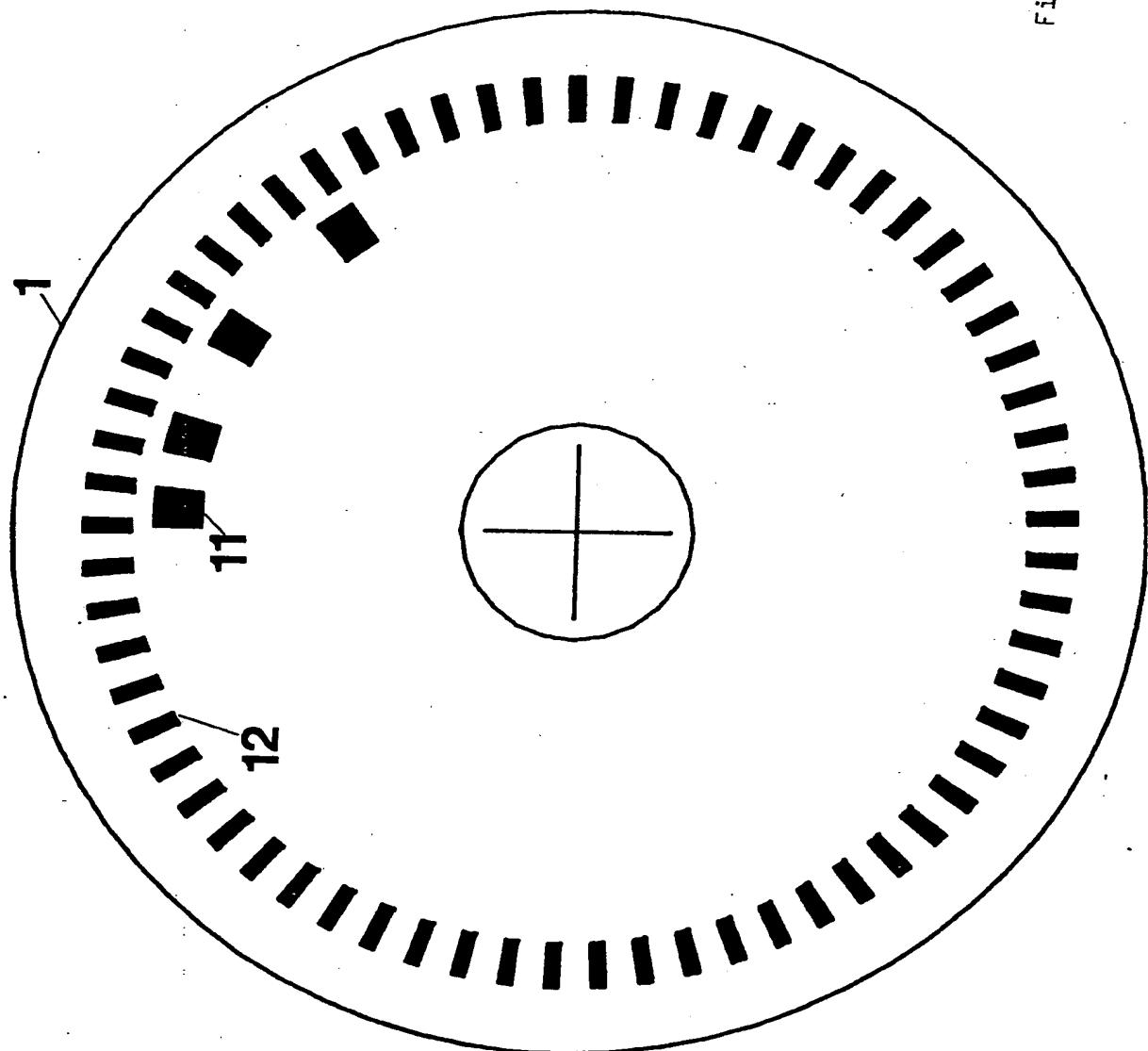
Figur 1

909838 / 0506

-13-

2811807

Figure 2



909838/0504

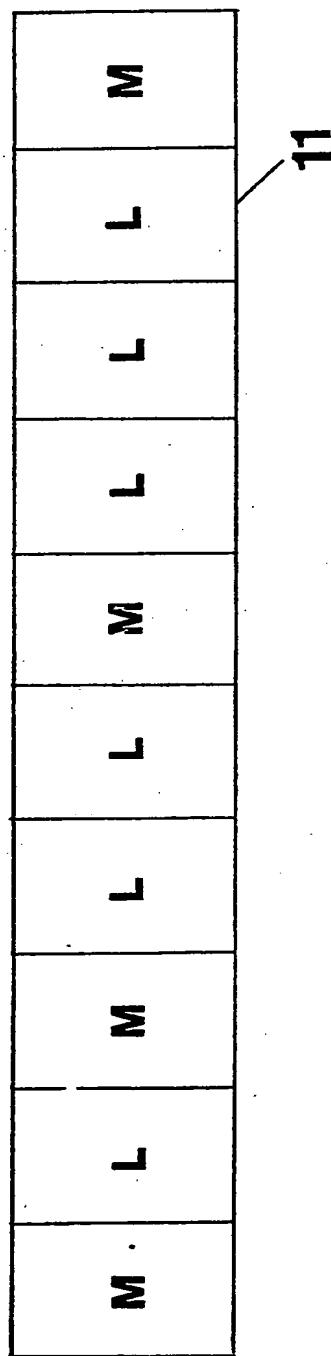


Figure 3

909838 / 0504

English translation of DE 28 11 807 A1

Digital absolute angle encoder according to the vernier principle

Digital absolute angle encoder according to the vernier principle

The invention relates to a digital absolute
5 angle encoder which is intended for electrical digital measurement of the analog mechanical angular position of a rotatable shaft in the uninterrupted full circle range of 0° to 360°.

Digital absolute angle encoders are used in
10 process technology for the electrical measurement of mechanical movements, especially when electrical digital output data are required.

It is known that digital absolute angle encoders are respectively made up of a rotatable code
15 disk and a stationary arrangement of sampling sensors. The code disk carries a geometrical pattern; this pattern is impressed in any physical material property to which the sampling sensors respond, usually electrical conductivity in contact brush sampling,
20 optical transparency in photoelectric sampling or magnetization strength in magnetic sampling. In the simplest case, which requires minimal outlay on sampling sensors and signal evaluation, the sampling sensors are arranged in an accurately aligned radial
25 row, the sampling sensors of which respectively generate one bit of information for the measurement data output, and to which a circular track pattern with different sector division from track to track is assigned on the code disk, corresponding to a non-
30 redundant or low-redundancy binary code, usually a gray code, and often the natural binary code or a BCD code.

It is known that it is also possible to employ linear codes instead of the low-redundancy binary codes: The code disk carries only a simple individual
35 marking as the special pattern. For the sampling, there are a number N of sensors in a simple geometrical equidistant concentric circular arrangement so that

one, or at most two, sampling sensors ever report proximity of the individual marking on the code disk. The desired instantaneous position of the output shaft is identified by a "1 out of N" decoding circuit with
5 the angular resolution $360^\circ/N$. This linear code is highly redundant in respect of the use of the sampling sensors, since the N sampling sensors in the linear code deliver only $(\log_2 N)$ bits of measuring information, while the same number N of sensors in the
10 binary code gives at most N bits of measuring information. In compensation, the linear code has the advantage over the linear code of not requiring any angular concurrence tuning between a plurality of sampling tracks.

15 The known digital absolute angle encoders have a number of disadvantages:

1. Binary-coded angle encoders require very high manufacturing accuracies, especially in the alignment of the sampling sensors and the
20 production of the fine-structured pattern of the code disk. If one sampling sensor fails, the entire function of the angle encoder is perturbed without the possibility of diagnosis and correction; redundant multiple arrangement of the sampling elements is not readily possible for reasons of space and accuracy.
2. Linear-coded angle encoders achieve high angle resolutions only with very large number of sampling sensors. If one sampling sensor fails,
30 the entire function of the angle encoder is perturbed without the possibility of diagnosis and correction. Redundant multiple arrangement of the sampling elements increases the already high outlay on sampling sensors.

35 It is an object of the invention to provide a digital absolute angle encoder based on the linear code which, with a given number N of sampling sensors, uses

the high redundancy of the linear code in order to permit error diagnosis and correction if a sampling sensor fails and, at the same time, in order to achieve a higher measuring resolution.

5 This object is achieved according to the invention in that the angle encoder contains a stationary uniform equidistant closed ring arrangement of N identical sampling sensors over the angle spacing scale $360^\circ/N$ over a circular track concentric with the
10 input shaft, which faces a rotatable code disk with a special pattern; this special pattern is the superposition of two sub-patterns:

15 1. a non-rotationally symmetric group of individual markings which are arranged over the angle spacing scale $360^\circ/N$ of the sampling sensors, but not regularly and only over a sector portion of the full circle; this sub-pattern, referred to below in obvious analogy as the "key bit pattern", is used for the coarse measurement
20 of the angular position.

25 2. a rotationally symmetric equidistant ring arrangement of $(N+1)$ identical individual markings over the spacing scale $360^\circ/(N+1)$; this sub-pattern, referred to below in obvious analogy as the "vernier pattern", is used for the fine measurement of the angular position.

The sets of individual markings belonging to the two sub-patterns induce distinguishable signals in the sensor, so that any sampling sensor respectively
30 gives one of the four possible discrete messages from the set of N sensors through a signal discrimination process:

1. no individual marking present
2. only an individual marking of the "key bit
35 pattern" present
- 3 only an individual marking of the "vernier pattern" present

4. both an individual marking of the "key bit pattern" and an individual marking of the "vernier pattern" present

The ensemble of discrete messages induced in
5 the ring arrangement of the N sampling sensors by the
"key bit pattern" of the code disk is repeated with
each revolution of the input shaft, i.e. it is periodic
over 360° . The ensemble of these N messages is uniquely
10 assigned to the position of the input shaft with an
angular resolution capability of $360^\circ/N$. By logic
decoding, it is possible to identify the instantaneous
coarse angular position from the ensemble of N discrete
messages, i.e. one of N possible equidistant positions
in the full circle.

15 The ensemble of N discrete messages induced in
the ring row of the N sampling sensors by the "vernier
pattern" of the code disk is repeated after each
rotation of the input shaft through the angle
 $360^\circ/(N+1)$, since the wave-formed beat pattern of the
20 superposition (interference) of the equidistant uniform
circular distribution of N sampling sensors and the
equidistant regular circular distribution of (N+1)
individual markings of the "vernier pattern" travels
through a full circle within the rotation angle
25 interval $360^\circ/(N+1)$. The ensemble of these N discrete
messages is therefore uniquely assigned to the position
of the input shaft within the interval $360^\circ/(N+1)$, with
the angular resolution $360^\circ/N \cdot (N+1)$. By logic decoding,
it is possible to identify the instantaneous fine
30 angular position from the ensemble of N discrete
messages, i.e. one of N positions. This process for
increasing accuracy by a fine measurement is the same
as in the vernier reading of the length scale of a
conventional workshop measuring tool, for example a
35 sliding gage.

Taken together, the coarse and fine measurements of the angular position therefore give an angular resolution of $360^\circ/N^2$.

According to the rest of the invention, the 5 "key bit pattern" on the code disk is redundantly embodied as an irregular sequence of individual markings and gaps (i.e. positions without individual markings) over the angle spacing scale $360^\circ/N$, so that the decoding of the instantaneous position of the input 10 shaft from the N sensor messages of individual marks of the "key bit pattern" remains unique even if one or more of the sensor messages is erroneous, for example owing to the failure of individual sensors, although in these cases an additional output signal is generated in 15 the decoding which indicates the occurrence of at least one sensor error. The information about the coarse position of the input shaft is automatically error-correcting and self-diagnosing owing to these redundancy measures.

According to the rest of the invention, instead 20 of the number (N+1) of regular equidistant individual markings of the "vernier pattern" on the code disk, there may be a number (N+A) of such markings, where A 25 is a positive or negative non-zero whole number of magnitude $|A| < N$. Such an arrangement also provides a fine measurement of the angular position of the input shaft, albeit with a lower resolution than in the case of the number (N+1) of individual markings.

The advantages achieved by the invention are 30 that, for a given number of sampling sensors, the measuring resolution of the linear-coded encoder is increased considerably by the additional vernier reading with the aid of the "vernier pattern", compared to the measuring resolution of simple linear-coded 35 angle encoders: in particular, the information content of the angle measurement value is doubled from $(\log_2 N)$ to $2 \cdot (\log_2 N)$. The invention also utilizes the high

redundancy of the linear code in order to perform automatic sensor error correction and sensor error diagnosis in the coarse angle measurement. Even in the fine measurement, furthermore, the failure of
5 individual sampling sensors leads only to a minor perturbation which entails measurement value falsification by at most a few fine resolution increments; the vernier measuring principle used is therefore error-tolerant with respect to isolated
10 sensor errors, in so far as the least significant bit or bits of the measurement data word are neglected, depending on whether one or more sensor errors are intended to be tolerated. The geometrical misplacement of one or more sampling sensors within the angularly
15 equidistant ring arrangement of the N sampling sensors has a most the same measurement value falsifying effect as individual measurement value failures, so that the measuring accuracy of the angle encoder depends on the degree of regularity of the overall ring arrangement of
20 sampling sensors, but not on the spatial position accuracy of the individual sampling element; this property is a substantial advantage over binary-coded angle encoders; this property means that the angle encoder can be produced with large manufacturing
25 tolerances, or that sensor components with an inexactly known spatial sensitivity distribution may be used.

An exemplary embodiment of the invention is represented in the drawing and will be described in more detail below.

30 Figure 1 shows a possible arrangement of the component parts of the digital absolute angle encoder according to the vernier principle with $N=64$ photoelectric sampling sensors and an optical code disk, as well as time-division multiplex signal
35 discrimination of the sensor information about individual markings of the "key bit pattern" and the

"vernier pattern" for the maximum angle measuring resolution of $360^\circ/4096$ ($=360^\circ/2^{12}$).

Figure 2 shows the optical pattern of the code disk for the arrangement represented in Figure 1.

5 Figure 3 shows a linear sequence of the "key bit pattern" of the code disk in Figure 2.

The optical code disk 1 is firmly connected to the input shaft 2. The input shaft 2 is mounted so that it can rotate freely in the bearing 3 fixed to the housing. The code disk 1 consists of transparent material and bears an optical darkening pattern which consists of two sub-patterns arranged in concentric tracks, i.e. the "key bit pattern" 11 and the "vernier pattern" 12. Fastened on the housing 31, concentrically around the input shaft 1, are the sampling sensor supports 4 which bear an equidistant uniform concentric annular row of N identical photoelectric sampling sensors 41 over the angle spacing scale $360^\circ/N$, two of which can be seen in section in the drawing. These N sampling sensors 41 deliver N independent discrete sensor signals via signal lines 42, two of which are represented in the drawing. The signals of the photoelectric sampling sensors are induced by two concentric linear ring light sources 51, 52, which are supplied by the current source 6 and are switched with a dual frequency by the clock generator 7 using the changeover switch 8, so that only one light source 51 or 52 respectively emits light and the sampling sensor row 41 therefore reports a light distribution due to the conically obliquely light incidence which is alternately caused by intensity modulation of the sub-pattern 11 or the sub-pattern 12. The measurement value decoder logic circuit 9, consisting of AND, OR and NOT gates and logic memory components, combines the signals arriving via the signal lines 42 together with the clock signal 71 to form the measurement output signal

10, which uniquely indicates the angular position of the input shaft.

The darkening pattern of the code disk 1, as represented in Figure 2, consists of the irregular concentric pattern 11 ("key bit pattern") which consists of individual markings with the angular spacing grid $360^\circ/64$ on the inner track for sampling by $N=64$ sensors, and of the regular concentric pattern 12 ("vernier pattern") which is arranged on the other track and carries $(N+1)=65$ equidistant individual markings.

The linear sequence of the sub-pattern 11 ("key bit pattern") of the code disk, as shown in Figure 3, is according to the invention an arrangement of 4 individual markings and 6 gaps (= missing individual markings) over 10 successive angle interval increments over the spacing scale $360^\circ/64$ in the following sequence ($M = \text{individual marking}, L = \text{gap}$)

$M - L - M - L - L - M - L - L - M,$

and $(N-10)=54$ further gaps for filling up the full circle; these are not represented in the drawing, but instead only the essential part of the sub-pattern 11 shown. This sub-pattern 11 is redundant so that, if a single error occurs (missing signal instead of gap or null signal instead of signal), the error-free signal pattern can be fully reconstructed from the perturbed residual pattern as an error-correcting effect in the decoding logic circuit.

The physical material property in which the sub-patterns to be sampled are impressed in the code disk, the sensor technique according to which they are sampled, whether the code disk is embodied in a modified geometrical shape, for example as a cylindrical drum, and the way in which signal discrimination is carried out when distinguishing between the two sub-patterns, for example by amplitude discrimination (pulse height discrimination),

geometrical discrimination, time or frequency discrimination, are not important with respect to the functional principle of the invention.

Patent Claims

1. A digital absolute angle encoder according to the vernier principle, characterized in that a code disk firmly connected to a rotatable input shaft is impressed with a special pattern which is sampled by an angularly equidistant regular closed ring arrangement of a number of N sampling sensors over the angle spacing scale $360^\circ/N$, the special pattern of the code disk being made up of two sub-patterns: an irregular pattern of individual markings and gaps (= missing individual markings) extending over a sector of the full circle over the angle spacing scale $360^\circ/N$ ("key bit pattern") and an angularly equidistant regular pattern of $(N+1)$ individual markings extending uniformly over the full circle over the spacing scale $360^\circ/(N+1)$ ("vernier pattern"); the sampling sensors give information about the presence of one type of individual markings independently of the presence of individual markings of the other type, i.e. the sampling sensors carry out signal discrimination between the individual markings of the "key bit pattern" and the individual markings of the "vernier pattern", so that a digital coarse-fine measurement of the angular position of the input shaft of the angle encoder can be performed by a decoder logic circuit in the vernier scale reading fashion.

2. The angle encoder as claimed in claim 1, characterized in that the irregular sub-pattern of individual markings ("key bit pattern") is redundantly embodied by using a number of individual markings so that, when one or more sampling sensor errors occur, error-free reconstruction of the unperturbed pattern is possible (error correction) and an error message is furthermore output (error diagnosis).

3. The angle encoder as claimed in claim 1 and 2, characterized in that instead of the number $(N+1)$ of

regular equidistant individual markings on the code disk ("vernier pattern"), there may be a number ($N+A$) of such individual markings, in which case A may be a positive or negative non-zero whole number of magnitude
5 $|A| < N$.

4. The angle encoder as claimed in claims 1 to 3, characterized in that for the photoelectric sampling of an optical code disk, the signal discrimination of the discrete sensor signals between the various individual
10 markings (of the "key bit pattern" and the "vernier pattern") is carried out in time-division multiplex, owing to the fact that the code disk carries two concentric tracks with the sub-patterns thereby geometrically separated from each other, which are
15 alternately illuminated under conically oblique light incidence with a dual frequency by separate light sources.

5. The angle encoder as claimed in claims 1 to 4, characterized in that there is an arrangement of 4
20 individual markings and 6 gaps (= missing individual markings) over 10 successive angle interval increments over the spacing scale $360^\circ/N$ in the following sequence (M = individual marking, L = gap)

M - L - M - L - L - M - L - L - M,

25 and (N-10) further gaps for filling up the full circle as a code disk pattern for the coarse position measurement ("key bit pattern"), which is error-tolerant with respect to any individual sensor errors.